



РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ  
(РОСПАТЕНТ)



**ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ ПРОМЫШЛЕННОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

рег.No 20/14-496(2)

"23 " декабря 1999 г.

### СПРАВКА

Федеральный институт промышленной собственности Российского агентства по патентам и товарным знакам настоящим удостоверяет, что приложенные материалы являются точным воспроизведением первоначального описания, формулы и чертежей (если имеются) заявки на выдачу патента на изобретение N 98101616 поданной в январе месяце 12 дня 1998 года.

**Название изобретения:** Оптический поляризатор

**Заявитель:** МИРОШИН Александр Александрович .

**Действительный автор(ы):** БЕЛЯЕВ Сергей Васильевич  
МАЛИМОНЕНКО Николай Владимирович  
МИРОШИН Александр Александрович

RECEIVED  
MAY 31 2002  
TC 1700

Уполномоченный заверить копию  
заявки на изобретение

Г.Ф. Востриков  
Заведующий отделом



## Оптический поляризатор

Изобретение относится к оптике, а именно к оптическим поляризаторам, которые могут быть использованы в жидкокристаллических дисплеях, в поляризационных очках, в автомобилях и других средствах передвижения, а также в стеклах для строительства, в осветительной аппаратуре, в оптическом приборостроении.

Используемые в настоящее время дихроичные оптические поляризаторы представляют собой ориентированную одноосным растяжением полимерную пленку, окрашенную в массу дихроичными органическими красителями или соединениями иода. В качестве полимера используют в основном поливиниловый спирт (ПВС) [1]. Иодные поляризаторы на основе ПВС, окрашенного иодом, имеют наиболее высокие поляризационные характеристики и находят широкое применение в производстве жидкокристаллических индикаторов для часов и калькуляторов, экранов для портативных компьютеров и т.п.

При прохождении неполяризованного света через дихроичный оптический поляризатор [1] одна линейно-поляризованная компонента, плоскость колебаний которой параллельна оси поглощения практически полностью поглощается. Другая ортогональная линейно-поляризованная компонента, т.е. та, в которой плоскость колебаний перпендикулярна оси поглощения, проходит через оптический поляризатор, испытывая значительно меньшее поглощение. Таким образом, осуществляется поляризация проходящего света. Иодные поляризаторы представляют собой многослойные пленки, которые включают наряду с поляризующим слоем также армирующие, клеевые и защитные слои.

Недостатками указанных пленочных дихроичных поляризаторов наряду со сравнительно высокой стоимостью, обусловленной сложностью их изготовления, является их низкая термо- и светостойкость.

Аналогом заявляемого оптического поляризатора может служить также дихроичный поляризатор света (ДПС), представляющий собой подложку с нанесенной на

нее тонкой пленкой молекулярно упорядоченного слоя дихроичных красителей, представляющих собой сульфокислоты или их неорганические соли азо- и полициклических соединений или их смеси, которые способны к образованию стабильной лиотропной жидкокристаллической фазы, что позволяет получать на их основе стабильные лиотропные жидкие кристаллы (ЛЖК) и композиции на их основе [ 2 ].

Для изготовления известного поляризатора [2] на поверхность подложки наносят красители при их одновременном механическом ориентировании с последующим испарением растворителя. При этом на поверхности подложки образуется пленка толщиной 0.1-1.5 мкм молекулярно упорядоченного слоя красителя - поляризующее покрытие, способное поляризовать свет.

Известный поляризатор [2] обладает более высокой термо- и светостойкостью по сравнению с иодными поляризаторами, однако имеет более низкие поляризационные характеристики.

Известны также оптические поляризаторы, "работающие" за счет других физических явлений, например, за счет разного коэффициента отражения света, имеющего различные поляризации. Поляризаторы такого типа называются отражательными, в них используются явления поляризации света как при падении и отражении световых пучков от поверхности любых диэлектрических материалов под наклонными углами, близкими к углу Брюстера, так и при нормальном (перпендикулярном к поверхности) падении и отражении света от поверхности двулучепреломляющих материалов. Улучшение поляризующих свойств достигается при использовании многослойных конструкций отражательных поляризаторов.

Наиболее близким по технической сущности является известный оптический поляризатор [3], включающий по крайней мере один двулучепреломляющий слой с толщиной, при которой реализуется интерференционный экстремум на выходе оптического поляризатора по крайней мере для одной линейно-поляризованной компоненты света. Такой поляризатор включает чередующиеся слои двух *прозрачных* (непоглощающих в диапазоне рабочих длин волн) полимерных материалов, по крайней мере один из которых двулучепреломляющий. Двулучепреломление в указанном полимерном материале образуется при вытяжке пленки, изготовленной из этого материала, в одном направлении в 2-10 раз. Другой слой полимерного материала, чередующийся послойно с двулучепреломляющим слоем, является оптически

изотропным. Обыкновенный показатель преломления двулучепреломляющего слоя равен показателю преломления оптически изотропного слоя. Необыкновенный показатель преломления двулучепреломляющего слоя отличается от показателя преломления оптически изотропного слоя.

Принцип работы известного оптического поляризатора заключается в следующем. Одна линейно-поляризованная компонента неполяризованного света, которой соответствует необыкновенный (большой) показатель преломления двулучепреломляющего слоя, существенно отражается от многослойного оптического поляризатора за счет различия показателей преломления на границах двулучепреломляющего и оптически изотропного полимерных слоев. При толщинах слоев порядка длины волны света, световые лучи, отраженные от границ слоев, интерферируют друг с другом. При соответствующем подборе толщин слоев и их показателей преломления оптическая разность хода между волнами, отраженными от границ слоев, составляет целое число длин волн, т.е. результатом интерференции отраженных волн будет интерференционный максимум, приводящий к их взаимному усилению. В этом случае отражение линейно-поляризованной компоненты неполяризованного света, которой соответствует необыкновенный (большой) показатель преломления двулучепреломляющего слоя, значительно усиливается.

Обыкновенный (меньший) показатель преломления двулучепреломляющего слоя выбирается существенно равным показателю преломления оптически изотропного полимерного слоя, т.е. нет различия (скачков) показателей преломления на границах двулучепреломляющего и оптически изотропного полимерных слоев. Поэтому другая линейно-поляризованная компонента падающего неполяризованного света, которой соответствует обыкновенный (меньший) показатель преломления двулучепреломляющего слоя, проходит через многослойный оптический поляризатор полностью, без каких-либо отражений.

Таким образом, при падении неполяризованного света на известный оптический поляризатор одна линейно-поляризованная компонента отражается, а другая линейно-поляризованная компонента проходит через оптический поляризатор, т.е. происходит поляризация света как для проходящего, так и для отраженного света.

Известный оптический поляризатор [3] является комбинированным и содержит также дополнительно дихроичный поляризатор со слабыми поглощением и дихроизмом,

оптически позиционированный с отражательным оптическим поляризатором. Роль дополнительного дихроичного поляризатора, ось пропускания которого параллельна оси пропускания отражательного оптического поляризатора, сводится к устранению отражений внешнего света при работе комбинированного оптического поляризатора “на просвет”.

Одним из недостатков известного оптического поляризатора является сравнительно сильная спектральная зависимость его оптических характеристик, т.е. зависимость поляризующей способности и коэффициента отражения (и пропускания) от длины волны поляризуемого света. Этот недостаток обусловлен тем, что показатели преломления в используемых материалах убывают при увеличении длины волны поляризуемого света.

Другим недостатком известного оптического поляризатора [3] является необходимость использования большого количества чередующихся слоев, обусловленная тем, что максимальная величина двулучепреломления (разница между необыкновенным и обыкновенным показателем преломления двулучепреломляющего материала) в прозрачных полимерных материалах мала и обычно не превышает 0,1-0,2. Поэтому коэффициент отражения от границ слоев мал, и для получения высокого отражения в целом от оптического поляризатора необходимо использовать большое количество (100-600) слоев, нанесение которых представляет огромной сложности задачу и требует специального прецизионного оборудования.

Вторая причина необходимости использования большого количества слоев в оптическом поляризаторе по прототипу заключается в следующем. Для поляризации света в широком диапазоне длин волн в многослойном покрытии нужно иметь много пар чередующихся слоев или групп пар с разными толщинами с целью “настройки” каждой группы пар на “свою” длину волны из широкого спектрального интервала.

Тем не менее, даже при использовании большого количества групп пар слоев, каждая из которых настроена на свою длину волны, оптические характеристики известного оптического поляризатора сравнительно сильно зависят от длины волны поляризуемого света.

Задачей изобретения является создание оптического поляризатора, обеспечивающего высокие поляризационные характеристики в широкой спектральной области при использовании количества слоев не более 10.

Поставленная задача решается в оптическом поляризаторе, отличающимся тем, что по крайней мере один двулучепреломляющий слой является анизотропно поглощающим и имеет по крайней мере один показатель преломления, возрастающий при увеличении длины волны поляризуемого света по крайней мере в некотором диапазоне из рабочих длин волн.

Существенным признаком изобретения является по крайней мере один двулучепреломляющий слой с толщиной, при которой реализуется интерференционный экстремум на выходе оптического поляризатора по крайней мере для одной линейно-поляризованной компоненты света. Толщина двулучепреломляющего слоя выбирается также в зависимости от типа материала, используемого для изготовления слоя.

Отличительным признаком изобретения является по крайней мере один анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой, который имеет по крайней мере один показатель преломления, возрастающий при увеличении длины волны поляризуемого света. При этом, во-первых, значительно увеличивается величина по крайней мере одного показателя преломления и резко уменьшается необходимое количество слоев. Во-вторых, значительно уменьшается и оптимальном варианте полностью устраняется зависимость условий получения интерференционных экстремумов (максимумов и минимумов) от длины волны света, что обеспечивает высокие поляризационные характеристики оптического поляризатора в широкой спектральной области.

Вариантами выполнения оптического поляризатора по изобретению, отличающегося тем, что по крайней мере один двулучепреломляющий слой является анизотропно поглощающим и имеет по крайней мере один показатель преломления, возрастающий при увеличении длины волны поляризуемого света по крайней мере в некотором диапазоне из рабочих длин волн, являются:

1. Оптический поляризатор, отличающийся тем, что по крайней мере один анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой изготовлен из материала, выбранного из числа низкомолекулярных термотропных жидкокристаллических веществ или их смесей, представляющих собой дихроичные красители или содержащих в качестве компоненты жидкокристаллические и/или нежидкокристаллические дихроичные красители.

2. Оптический поляризатор, отличающийся тем, что по крайней мере один анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой изготовлен из материала, выбранного из числа полимерных термотропных жидкокристаллических или нежидкокристаллических веществ или их смесей, содержащих растворенные в массе и/или химически связанные с полимерной цепью дихроичные красители, и имеет толщину менее 0,2 мкм.

3. Оптический поляризатор, отличающийся тем, что по крайней мере один анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой представляет собой ориентированную пленку нежидкокристаллических полимерных материалов с регулируемой степенью гидрофильности, окрашенных дихроичными красителями и/или соединениями иода.

4. Оптический поляризатор, отличающийся тем, что по крайней мере один анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой сформирован из дихроичных органических красителей полимерного строения.

5. Оптический поляризатор, отличающийся тем, что по крайней мере один анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой представляет собой ориентированный молекулярно упорядоченный слой органических солей дихроичных анионных красителей.

6. Оптический поляризатор, отличающийся тем, что по крайней мере один анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой представляет собой ориентированный молекулярно упорядоченный слой толщиной менее 0.1 мкм дихроичных красителей, способных к образованию лиотропной жидкокристаллической фазы.

7. Оптический поляризатор, отличающийся тем, что по крайней мере один анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой представляет собой ориентированный молекулярно упорядоченный слой толщиной менее 0.1 мкм дихроичных красителей полимерного строения, способных к образованию лиотропной жидкокристаллической фазы.

8. Оптический поляризатор, отличающийся тем, что по крайней мере один анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой представляет собой ориентированный молекулярно упорядоченный слой толщиной менее 0.1 мкм

дихроичных красителей или их смесей, способных к образованию стабильной лиотропной жидкокристаллической фазы.

Перечисленными вариантами не ограничиваются возможности использования других материалов для формирования анизотропно поглощающих двулучепреломляющих слоев для предлагаемого оптического поляризатора.

Анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой в предлагаемом оптическом поляризаторе может быть как твердым, так и жидким.

Использование по крайней мере одного анизотропно поглощающего двулучепреломляющего слоя хотя и вызывает небольшие потери света в оптическом поляризаторе, однако эти потери малы, особенно в слоях толщиной менее 0,1 мкм, и достигаемый технический результат - обеспечение высоких поляризационных характеристик в широкой спектральной области при использовании количества слоев не более 10 - компенсирует эти потери.

Выбор методов изготовления оптического поляризатора по изобретению зависит от вида материалов, используемых для анизотропно поглощающих двулучепреломляющих и других слоев, и не влияет на суть изобретения.

Для формирования анизотропно поглощающих двулучепреломляющих слоев, могут быть применены следующие стандартные способы: нанесение валиком, ракельным ножом, ракелем в форме невращающегося цилиндра, нанесение с помощью щелевой фильеры и другие. В ряде случаев после нанесения слой подвергается сушке с целью удаления растворителей. В других случаях, например для термопластичных полимерных материалов и стеклующихся материалов, нанесенный слой охлаждается после нанесения.

Другими методами, которые можно использовать для получения анизотропно поглощающих двулучепреломляющих слоев из материалов, образующих в процессе нанесения жидкокристаллической фазу, является нанесение этого материала на подложку, изначально подготовленную для ориентации жидкокристаллической фазы [4]. Одним из таких методов служит однонаправленное натирание подложки или предварительно нанесенного на нее тонкого полимерного слоя, известное и применяемое для ориентации термотропных низкомолекулярных жидкокристаллических смесей при изготовлении ЖК-дисплеев.

Еще один метод получения анизотропно поглощающих двулучепреломляющих слоев - это известный метод фотоориентации предварительно нанесенного тем или иным

способом слоя с помощью облучения его линейно-поляризованным ультрафиолетовым светом.

Для нанесения анизотропно поглощающих двулучепреломляющих слоев из термотропных полимерных материалов могут быть применены экструдеры, в том числе имеющие несколько плоских фильер и позволяющие наносить за один проход сразу несколько слоев разных полимерных материалов требуемой толщины.

Здесь и далее под понятием свет и “оптический” (поляризатор) имеется в виду электромагнитное излучение видимого, ближнего ультрафиолетового и ближнего инфракрасного диапазонов длин волн, т.е. диапазона от 250-300 нанометров до 1.000-2.000 нанометров (от 0,25-0,3 до 1-2 микрометров).

Здесь и далее говорится про плоский слой исключительно для простоты понимания. Без потери общности мы имеем в виду также оптический поляризатор, имеющий слои различной формы: цилиндрические, сферические и других более сложных форм. Кроме того, предлагаемый оптический поляризатор может быть выполнен как конструкционно единым и изолированным, так и нанесенным на различные подложки или между подложками.

Двулучепреломляющими называют слои, имеющие по крайней мере два различных показателя преломления: необыкновенный  $n_e$  для одной линейно-поляризованной компоненты света и обыкновенный  $n_o$  для другой ортогональной линейно-поляризованной компоненты света. Величина  $\Delta n = n_e - n_o$  называется анизотропией показателя преломления или, проще, оптической анизотропией. Здесь и далее полагается, что оптические оси, которым соответствуют необыкновенный и обыкновенный показатели преломления ортогональны и расположены в плоскости слоя. Оптическая ось, которой соответствует необыкновенный показатель преломления  $n_e$ , выделена тем или иным способом. Например, этой осью может быть направление вытяжки слоя полимерного материала или директор в ориентированном нематическом жидком кристалле. Такой двулучепреломляющий слой в смысле кристаллооптики соответствует оптически одноосной пластинке, вырезанной параллельно главной оси. Здесь и далее рассматриваются для примера оптически положительные двулучепреломляющие слои, в

которых  $n_e > n_o$ . Без потери общности все выводы относятся также к оптически отрицательным двулучепреломляющим слоям, в которых  $n_e < n_o$ .

В более общем случае, например для оптически двуосных слоев, существуют три различных показателя преломления  $n_x = n_e$ ,  $n_y = n_o$ ,  $n_z$ . Показатель преломления  $n_x$  соответствует направлению колебаний в световой волне, параллельному плоскости слоя и направленному вдоль выделенного тем или иным способом направления  $X$  в плоскости слоя,  $n_y$  - направлению  $Y$  колебаний в световой волне, также параллельному плоскости слоя, но перпендикулярному направлению  $X$ ,  $n_z$  - направлению  $Z$  колебаний в световой волне, перпендикулярному плоскости слоя. В зависимости от способа изготовления двулучепреломляющих слоев и типа используемых материалов соотношение величин показателей преломления  $n_x$ ,  $n_y$ ,  $n_z$  может быть различным.

По крайней мере один анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой в предлагаемом оптическом поляризаторе может иметь один, два или все три показателя преломления, возрастающие при увеличении длины волны поляризуемого света по крайней мере в некотором диапазоне из рабочих длин волн.

Наиболее предпочтительно использовать оптический поляризатор по изобретению, отличающийся тем, что по крайней мере один анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой имеет по крайней мере один показатель преломления, прямо пропорциональный длине волны поляризуемого света по крайней мере в некотором диапазоне из рабочих длин волн. Например, если в формуле  $2dn_e = m\lambda$  (где  $d$  - толщина анизотропно поглощающего двулучепреломляющего слоя,  $m$  - порядок интерференции), соответствующей условию интерференционного максимума, необыкновенный показатель преломления  $n_e$  будет прямо пропорционален длине волны света, т.е.  $n_e = A\lambda$  (где  $A$  - коэффициент пропорциональности), то длина волны "сокращается", а это означает, что условие, в данном случае интерференционного максимума, выполняется для всех длин волн и, более того, для всех порядков интерференции, т.е. для всех значений  $m$ . сверх того, при другой толщине слоя этого же материала можно аналогично получить независимость от длины волны света условия интерференционного минимума. Прямая пропорциональность показателя преломления длине волны света является более строгим

требованием (условием), чем простое возрастание показателя преломления при увеличении длины волны света.

Предпочтительным по изобретению является оптический поляризатор, отличающийся тем, что по крайней мере один анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой имеет максимальную величину по крайней мере одного показателя преломления не менее 1,9. При этом необходимое число слоев не превышает 10, а спектральная область с высокими поляризационными характеристиками расширяется более, чем в три раза по сравнению с прототипом.

Эксперименты и оценки показали также, что предпочтительным является оптический поляризатор, отличающийся тем, что по крайней мере один анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой имеет максимальный показатель поглощения не менее 0,1 в диапазоне рабочих длин волн.

Оптимальным является оптический поляризатор, отличающийся тем, что толщины анизотропно поглощающих двулучепреломляющих слоев выбираются из условия получения на выходе оптического поляризатора интерференционного минимума для одной линейно-поляризованной компоненты света и, одновременно, интерференционного максимума для другой ортогональной линейно-поляризованной компоненты света. Действительно, особенностью двулучепреломляющих слоев является сам факт существования по крайней мере двух различных по значению показателей преломления, например,  $n_x$  и  $n_y$ , соответствующих осям X и Y, расположенным в плоскости слоя. Благодаря этому факту, можно выбрать толщину слоя и порядок интерференции (число  $m$ ) так, чтобы на выходе оптического поляризатора получался интерференционный минимум для одной линейно-поляризованной компоненты и, одновременно, интерференционный максимум для другой ортогональной линейно-поляризованной компоненты света. Интерференционный минимум может соответствовать обыкновенному показателю преломления, при этом интерференционный максимум обусловлен, соответственно, необыкновенным показателем преломления. Возможна также обратная ситуация, когда интерференционный минимум соответствует необыкновенному показателю преломления, при этом интерференционный максимум обусловлен, соответственно, обыкновенным показателем преломления.

Предпочтителен также оптический поляризатор, отличающийся тем, что он содержит по крайней мере два слоя, по крайней мере один из которых анизотропно

поглощающий двулучепреломляющий слой, а другой слой оптически изотропный, причем один показатель преломления двулучепреломляющего слоя максимально отличается от показателя преломления оптически изотропного слоя, а другой показатель преломления анизотропно поглощающего двулучепреломляющего слоя совпадает или (максимально) близок с показателем преломления оптически изотропного слоя.

В этом варианте одна линейно-поляризованная компонента падающего неполяризованного света, которой соответствует необыкновенный (большой) показатель преломления анизотропно поглощающего двулучепреломляющего слоя, существенно отражается от многослойного оптического поляризатора за счет различия показателей преломления на границах слоев. При соответствующем подборе толщин слоев и их показателей преломления оптическая разность хода между волнами, отраженными от границ одного и того же анизотропно поглощающего двулучепреломляющего слоя, составляет целое число длин волн, т.е. результатом их интерференции будет интерференционный максимум, приводящий к взаимному усилению отраженных волн. При этом оптические толщины слоев оптически изотропного материала могут быть как значительно больше длины волны, так и порядка длины волны. В результате отражение линейно-поляризованной компоненты неполяризованного света, которой соответствует необыкновенный (большой) показатель преломления анизотропно поглощающих двулучепреломляющих слоев значительно усиливается.

Обыкновенный (меньший) показатель преломления анизотропно поглощающих двулучепреломляющих слоев совпадает или (максимально) близок показателю преломления оптически изотропного слоя, т.е. нет различия (скачков) показателей преломления на границах слоев. Поэтому другая линейно-поляризованная компонента падающего неполяризованного света, которой соответствует обыкновенный (меньший) показатель преломления анизотропно поглощающего двулучепреломляющего слоя, проходит через многослойный оптический поляризатор полностью, без каких-либо отражений.

Другим вариантом по изобретению служит оптический поляризатор, отличающийся тем, что он содержит по крайней мере два различных двулучепреломляющих слоя, по крайней мере один из которых анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой, причем один показатель преломления анизотропно поглощающего двулучепреломляющего слоя (максимально) отличается от одного показателя преломления другого двулучепреломляющего слоя, а другой

показатель преломления анизотропно поглощающего двулучепреломляющего слоя совпадает или максимально близок с другим показателем преломления другого двулучепреломляющего слоя.

Большое влияние на результат интерференции оказывает соотношение интенсивностей, а значит и амплитуд электрических полей интерферирующих лучей. Известно, что минимальное значение интенсивности в интерференционном минимуме (теоретически равное нулю) может быть получено в случае их равенства. Поэтому целесообразно обеспечить максимально достижимое выравнивание амплитуд интерферирующих лучей для условиях интерференционного минимума, что обеспечивает максимальное "гашение" лучей соответствующей компоненты неполяризованного света. Для получения оптимального результата интерференции для условий интерференционного максимума необходимо увеличивать коэффициенты отражения от каждой границы слоев.

Предлагаемый оптический поляризатор может быть выполнен как комбинированным, т.е. работающим как "на отражение", так и "на пропускание", так и для работы только "на отражение". В этих случаях вариантом выполнения является оптический поляризатор, отличающийся тем, что на одну его сторону дополнительно нанесено светоотражающее покрытие. Предпочтительным является оптический поляризатор, отличающийся тем, что светоотражающее покрытие выполнено металлическим. Нанесение светоотражающего покрытия позволяет также выбирать оптимальные для интерференции коэффициенты отражения от границ оптического поляризатора.

При нанесении оптического поляризатора на подложку первым со стороны подложки может быть нанесено как светоотражающее покрытие (зеркало полностью или частично отражающее), так и сам оптический поляризатор.

Отражающее покрытие может быть выполнено как из металла, так и в виде многослойных диэлектрических зеркал из чередующихся слоев материалов с высоким и низким показателями преломления.

Металлические покрытия достаточно просто наносятся, например термическим испарением в вакууме, но при этом в них имеет место поглощение света, что уменьшает пропускание (отражение) оптического поляризатора. Для получения отражающих

металлических покрытий могут использоваться алюминий (Al), серебро (Ag) и другие металлы.

В случае многослойных диэлектрических зеркал поглощение света в них отсутствует, но процесс их нанесения довольно сложен и трудоемок. Для этих покрытий могут использоваться  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{ZnS}$ ,  $\text{ZnSe}$ ,  $\text{ZrO}_2$ , криолит и полимеры в качестве материалов с высоким показателем преломления, а в качестве материалов с низким показателем преломления -  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{BaF}_2$ ,  $\text{MgF}_2$ ,  $\text{AlN}$ ,  $\text{BN}$  или полимеры.

Для нанесения отражающих покрытий на подложку или на оптический поляризатор могут быть применены следующие стандартные способы: термическое испарение в вакууме, нанесение в парах с последующей термической обработкой, магнетронное распыление и другие.

В качестве материала подложки, на которую может быть нанесен оптический поляризатор, работающий на "просвет" и, возможно, дополнительно на "отражение", могут быть использованы любые материалы, прозрачные в диапазоне рабочих длин волн, например, кварц, стекло, полимеры и другие.

В качестве материала подложки, на которую может быть нанесен оптический поляризатор, работающий только на "отражение" наряду с материалами, прозрачными в диапазоне рабочих длин волн, например, кварц, стекло, полимеры и могут быть использованы также любые другие материалы, непрозрачные в диапазоне рабочих длин волн, например, металлы, полупроводниковые материалы, ситаллы, пластмассы и другие.

Изобретение иллюстрируется отдельными примерами конкретного выполнения на фиг.1-3. На фиг.1 показана схема однослойного оптического поляризатора по изобретению отражательного типа. На фиг.2 схематично представлены виды зависимостей показателя преломления слоев в оптических поляризаторах от длины волны света. На фиг.3 показана схема многослойного оптического поляризатора по изобретению.

На фиг.1 показана схема однослойного оптического поляризатора по изобретению отражательного типа, включающего анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой 1, отличающегося тем, что оба его показателя преломления (необыкновенный  $n_e$  и обыкновенный  $n_o$ ) пропорциональны длине волны поляризуемого света. В простейшем

варианте слой 1 граничит с двух сторон с воздухом. В более сложных вариантах на одну его сторону дополнительно нанесено светоотражающее покрытие. Слой 1 может быть нанесен также на подложку, например из прозрачного стекла (показана на фиг.1 пунктиром).

Работу предлагаемого оптического поляризатора отражательного типа можно пояснить следующим образом. Неполяризованный свет состоит из двух линейно поляризованных компонент 2 и 3, плоскости поляризации которых взаимно перпендикулярны (эти две компоненты условно разнесены на фиг.1 для наглядности и лучшего понимания). Компонента 2, поляризованная параллельно оптической оси анизотропно поглощающего двулучепреломляющего слоя 1, частично отражается от границы слоя 1, образуя луч 4. Частичное отражение света от границы раздела слоя 1 и среды происходит за счет скачка (разницы) показателей преломления на этой границе. Для частичного отражения света может быть использовано также дополнительно нанесенное на слой 1 светоотражающее покрытие. Другая часть энергии компоненты 2, проходя через анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой 1, отражается от второй границы слоя 1, и проходит еще раз слой 1, образуя луч 5. Отраженные лучи 4 и 5 поляризованы так же, как и входящая компонента 2.

Толщина слоя 1 выбирается такой, чтобы оптическая разность хода  $\Delta_e$  для лучей 4 и 5, соответствующая большему показателю преломления  $n_e$ , составляла нечетное число полуволен поляризуемого света,  $\Delta_e = \lambda/2 + m \lambda$ , где  $\lambda$  - длина волны света,  $m$  - порядок интерференции. Если среды с обеих сторон слоя 1 прозрачные (непоглощающие) и имеют показатели преломления меньше, чем показатели преломления слоя 1, то оптическая разность хода  $\Delta_e = 2dn_e + \lambda/2$ , где  $d$  - толщина слоя 1, а величина  $\lambda/2$  - скачок фазы при отражении от первой границы как от оптически более плотной среды. В этом случае результатом интерференции лучей 4 и 5 является их взаимное ослабление, и в оптимальном варианте их полное гашение. Полное гашение лучей 4 и 5 достигается, если интенсивности (амплитуды) лучей 4 и 5 одинаковы или близки по величине, что может быть достигнуто оптимальным подбором коэффициентов отражения от границ слоя 1, например за счет дополнительно нанесенного светоотражающего покрытия. Светоотражающее покрытие может быть выполнено металлическим или диэлектрическим и быть однослойным или многослойным. При выполнении условия

пропорциональности необыкновенного показателя преломления анизотропно поглощающего двулучепреломляющего слоя 1 длине волны света ( $n_e \sim \lambda$ ) равенство  $\Delta_e = 2dn_e + \lambda/2 = \lambda/2 + m\lambda$  выполняется для всего диапазона рабочих длин волн света, что обеспечивает высокие поляризационные характеристики в широкой спектральной области.

Другая линейно поляризованная компонента 3, которая поляризована перпендикулярно оптической оси анизотропно поглощающего двулучепреломляющего слоя 1, частично отражается от первой границы слоя 1, образуя луч 6. Другая часть энергии компоненты 3, проходя через слой 1, отражается от второй границы слоя 1, проходит еще раз слой 1, образуя луч 7. Отраженные лучи 6 и 7 поляризованы так же, как и входящая компонента 3. Результатом интерференции лучей 6 и 7 является их взаимное усиление, т.е. интерференционный максимум, т.к. оптическая разность хода между ними  $\Delta_o$ , соответствующая обыкновенному (меньшему) показателю преломления  $n_o$ , составляет целое число длин волн  $\Delta_o = 2dn_o + \lambda/2 = m\lambda$  (скачок фазы  $\lambda/2$  при отражении луча 6 от первой границы слоя 1 для этой компоненты также происходит). При выполнении условия пропорциональности обыкновенного показателя преломления анизотропно поглощающего двулучепреломляющего слоя 1 длине волны света ( $n_o \sim \lambda$ ) условие интерференционного максимума  $\Delta_o = 2dn_o + \lambda/2 = m\lambda$  также выполняется для всего диапазона рабочих длин волн света, что означает устранение спектральной зависимости поляризационных характеристик оптического поляризатора

Таким образом, в широкой области спектра в результате интерференции суммарное отражение компоненты 2, поляризованной параллельно быстрой оси слоя 1 двулучепреломляющего материала значительно меньше, чем отражение компоненты 3, поляризованной перпендикулярно быстрой оси слоя 1.

Возможна реализация и обратной ситуации, когда в результате интерференции суммарное отражение компоненты 2, поляризованной параллельно оптической оси слоя двулучепреломляющего материала 1 значительно больше, чем отражение компоненты 3, поляризованной перпендикулярно оптической оси слоя 1. Эта ситуация имеет место, когда толщина слоя 1 выбирается такой, чтобы оптическая разность хода  $\Delta_e$  для лучей 4 и 5, соответствующая необыкновенному (большему) показателю преломления  $n_e$ , составляла четное число полуволн поляризуемого света  $\Delta_e = m\lambda$ . В этом случае

результатом интерференции лучей 4 и 5 является интерференционный максимум, т.е. их взаимное усиление. В то же время оптическая разность хода  $\Delta_0$  для лучей 6 и 7, соответствующая обыкновенному (меньшему) показателю преломления  $n_0$ , составляет нечетное число полуволн поляризуемого света  $\Delta_0 = \lambda/2 + m\lambda$ . В этом случае результатом интерференции лучей 9 и 10 является интерференционный минимум, т.е. их взаимное ослабление. Теперь в результате интерференции суммарное отражение компоненты 2, поляризованной параллельно оптической оси слоя 1 двулучепреломляющего материала значительно больше, чем отражение компоненты 3, поляризованной перпендикулярно оптической оси слоя 1 двулучепреломляющего материала.

На фиг.2 схематично представлены зависимости показателя преломления слоев в оптических поляризаторах от длины волны видимого света, т.е. в области 400-700 нанометров. Кривая 1 соответствует оптическому поляризатору по прототипу, в котором показатель преломления слоев убывает при увеличении длины волны света. Такая зависимость в оптике называется нормальной дисперсией и свойственна прозрачным материалам. Кривая 2 соответствует оптическому поляризатору по изобретению, в котором по крайней мере один показатель преломления слоев возрастает при увеличении длины волны света. Такая зависимость в оптике называется аномальной дисперсией и для получения такой зависимости оптический поляризатор должен быть специальным образом сконструирован. Эксперименты и расчеты показали, что предпочтительным для этого является оптический поляризатор, отличающийся тем, что по крайней мере один анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой имеет максимальный показатель поглощения не менее 0,1 в диапазоне рабочих длин волн. Здесь, как и в оптике, показатель поглощения изготовленного слоя  $k$  определяется (см. также ГОСТ 7601-78) как коэффициент при мнимой части в комплексном показателе преломления изготовленного слоя материала  $Z = n - ik$ . Кривая 3 соответствует предпочтительному варианту оптического поляризатора по изобретению, отличающемуся тем, что по крайней мере один анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой имеет по крайней мере один показатель преломления, прямо пропорциональный длине волны поляризуемого света по крайней мере в некотором диапазоне из рабочих длин волн. Прямая пропорциональность показателя преломления длине волны света является более строгим требованием (условием), чем простое возрастание показателя преломления при

увеличении длины волны света. Высокие поляризационные характеристики в широкой спектральной области обеспечиваются в оптическом поляризаторе, отличающимся тем, что показатель преломления возрастает при увеличении длины волны поляризуемого света как в некотором диапазоне из рабочих длин волн, так и при всех рабочих длинах волн.

На фиг.3 показана схема многослойного оптического поляризатора по изобретению, включающего 4 анизотропно поглощающих двулучепреломляющих слоя 1, отличающегося тем, что необыкновенный показатель преломления  $n_e$  этих слоев возрастает при увеличении длины волны поляризуемого света. Указанные слои 1 нанесены, чередуясь со четырьмя слоями 8 оптически изотропного материала, причем обыкновенный показатель преломления  $n_o$  двулучепреломляющего материала совпадает или максимально близок с показателем преломления  $n_i$  оптически изотропного материала. Анизотропно поглощающие двулучепреломляющие слои 1 могут быть выполнены одинаковыми или из разных материалов, отличающихся, например, спектральными диапазонами, в которых необыкновенный показатель преломления  $n_e$  возрастает при увеличении длины волны.

Работу предлагаемого оптического поляризатора можно пояснить следующим образом. Неполаризованный свет состоит из двух линейно- поляризованных компонент 2 и 3, плоскости поляризации которых взаимно перпендикулярны (эти две компоненты условно разнесены на фиг.3 для наглядности и лучшего понимания). Компонента 2, поляризованная параллельно оптической оси анизотропно поглощающих двулучепреломляющих слоев 1, частично отражается от границ слоев 1 и оптически изотропных слоев 8, образуя лучи 4. Отраженные лучи 4 поляризованы так же, как и входящая компонента 2.

Толщина слоев 1 выбирается такой, что результатом интерференции всех лучей 4 является интерференционный максимум, т.е. их взаимное усиление. Коэффициент отражения при этом достигает 98% - 99,9% , что означает, что линейно-поляризованная компонента 2 практически полностью отражается от оптического поляризатора, образуя луч 9. При выполнении условия более строгого, чем просто возрастание, а именно, условия прямой пропорциональности необыкновенного показателя преломления анизотропно поглощающих двулучепреломляющих слоев 1 длине волны света ( $n_e \sim \lambda$ )

условие интерференционного максимума выполняется для всего диапазона рабочих длин волн света.

Другой компоненте 3 неполяризованного света, линейно поляризованной перпендикулярно оптической оси слоев 1, соответствует обыкновенный показатель преломления  $n_o$  слоев 1, равный показателю преломления  $n_i$  оптически изотропного слоя ( $n_o = n_i$ ). При этом никакого отражения от границ слоев 1 и 8 нет, и линейно поляризованная компонента 3 проходит через многослойный оптический поляризатор полностью, без каких-либо отражений, образуя луч 10. Отражение компоненты 3 от внешних поверхностей оптического поляризатора может быть устранено обычным способом "просветления", т.е. нанесением на внешние поверхности оптически изотропных слоев с оптической толщиной в четверть длины волны и показателем преломления равным  $n_o^{1/2}$ .

В результате неполяризованный свет при падении на многослойный оптический поляризатор разделяется на две части и превращается в линейно поляризованный луч 9, проходящий через оптический поляризатор, и ортогонально поляризованный луч 10, отраженный от оптического поляризатора.

Описанные примеры не ограничивают возможные варианты конкретного выполнения предлагаемого оптического поляризатора.

Таким образом, во всех приведенных примерах обеспечиваются высокие поляризационные характеристики оптического поляризатора в широкой спектральной области, при использовании количества слоев не более 10.

### Формула изобретения.

1. Оптический поляризатор, включающий по крайней мере один двулучепреломляющий слой с толщиной, при которой реализуется интерференционный экстремум на выходе оптического поляризатора по крайней мере для одной линейно-поляризованной компоненты света, отличающийся тем, что по крайней мере один двулучепреломляющий слой является анизотропно поглощающим и имеет по крайней мере один показатель преломления, возрастающий при увеличении длины волны поляризуемого света по крайней мере в некотором диапазоне из рабочих длин волн.
2. Оптический поляризатор по п.1, отличающийся тем, что по крайней мере один анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой изготовлен из материала, выбранного из числа низкомолекулярных термотропных жидкокристаллических веществ или их смесей, представляющих собой дихроичные красители или содержащих в качестве компоненты жидкокристаллические и/или нежидкокристаллические дихроичные красители.
3. Оптический поляризатор по п.1, отличающийся тем, что по крайней мере один анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой изготовлен из материала, выбранного из числа полимерных термотропных жидкокристаллических и/или нежидкокристаллических веществ или их смесей, содержащих растворенные в массе и/или химически связанные с полимерной цепью дихроичные красители, и имеет толщину менее 0,2 мкм.
4. Оптический поляризатор по п.1, отличающийся тем, что по крайней мере один анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой представляет собой ориентированную пленку нежидкокристаллических полимерных материалов с регулируемой степенью гидрофильности, окрашенных дихроичными красителями и/или соединениями иода.
5. Оптический поляризатор по п.1, отличающийся тем, что по крайней мере один анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой сформирован из дихроичных органических красителей полимерного строения.
6. Оптический поляризатор по п.1, отличающийся тем, что по крайней мере один анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой представляет собой

ориентированный молекулярно упорядоченный слой органических солей дихроичных анионных красителей.

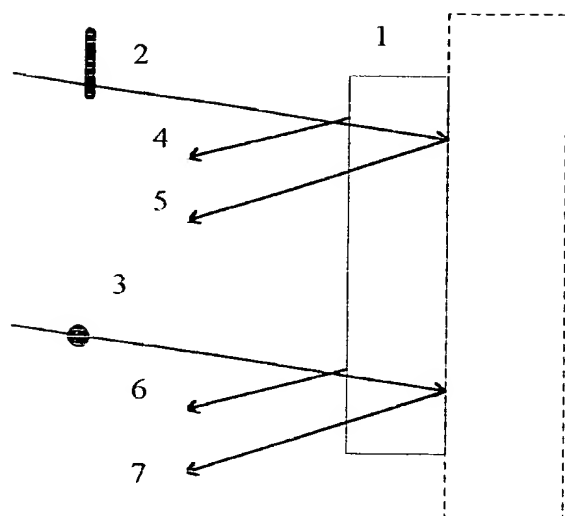
7. Оптический поляризатор по п.1, отличающийся тем, что по крайней мере один анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой представляет собой ориентированный молекулярно упорядоченный слой толщиной менее 0.1 мкм дихроичных красителей, способных к образованию лиотропной жидкокристаллической фазы.
8. Оптический поляризатор по п.7, отличающийся тем, что по крайней мере один анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой представляет собой ориентированный молекулярно упорядоченный слой дихроичных органических красителей полимерного строения.
9. Оптический поляризатор по п.7, отличающийся тем, что по крайней мере один анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой представляет собой ориентированный молекулярно упорядоченный слой дихроичных красителей или их смесей, способных к образованию стабильной лиотропной жидкокристаллической фазы.
10. Оптический поляризатор по п.1, отличающийся тем, что по крайней мере один анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой имеет по крайней мере один показатель преломления, прямо пропорциональный длине волны поляризуемого света по крайней мере в некотором диапазоне из рабочих длин волн.
11. Оптический поляризатор по п.1, отличающийся тем, что по крайней мере один анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой имеет максимальную величину по крайней мере одного показателя преломления не менее 1,9.
12. Оптический поляризатор по п.1, отличающийся тем, что по крайней мере один анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой имеет максимальный показатель поглощения не менее 0,1 в диапазоне рабочих длин волн.
13. Оптический поляризатор по п.1, отличающийся тем, что толщины анизотропно поглощающих двулучепреломляющих слоев выбираются из условия получения на выходе оптического поляризатора интерференционного минимума для одной линейно-поляризованной компоненты света и, одновременно, интерференционного максимума для другой ортогональной линейно-поляризованной компоненты света.
14. Оптический поляризатор по п.1, отличающийся тем, что он содержит по крайней мере два слоя, по крайней мере один из которых анизотропно поглощающий

двулучепреломляющий слой, а другой слой оптически изотропный, причем один показатель преломления двулучепреломляющего слоя максимально отличается от показателя преломления оптически изотропного слоя, а другой показатель преломления анизотропно поглощающего двулучепреломляющего слоя совпадает или максимально близок с показателем преломления оптически изотропного слоя.

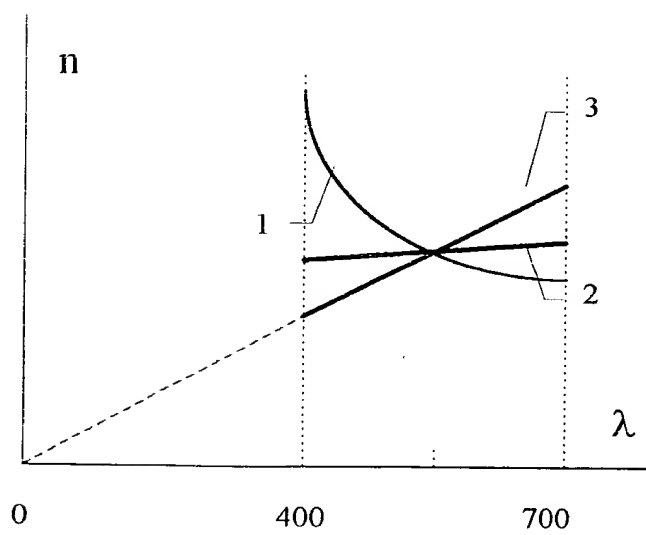
15. Оптический поляризатор по п.1, отличающийся тем, что он содержит по крайней мере два различных двулучепреломляющих слоя, по крайней мере один из которых анизотропно поглощающий двулучепреломляющий слой, причем один показатель преломления анизотропно поглощающего двулучепреломляющего слоя максимально отличается от одного показателя преломления другого двулучепреломляющего слоя, а другой показатель преломления анизотропно поглощающего двулучепреломляющего слоя совпадает или максимально близок с другим показателем преломления другого двулучепреломляющего слоя.
16. Оптический поляризатор по п.1, отличающийся тем, что на одну его сторону дополнительно нанесено светоотражающее покрытие.
17. Оптический поляризатор по п.16, отличающийся тем, что светоотражающее покрытие выполнено металлическим.

Источники информации, принятые во внимание при составлении заявки.

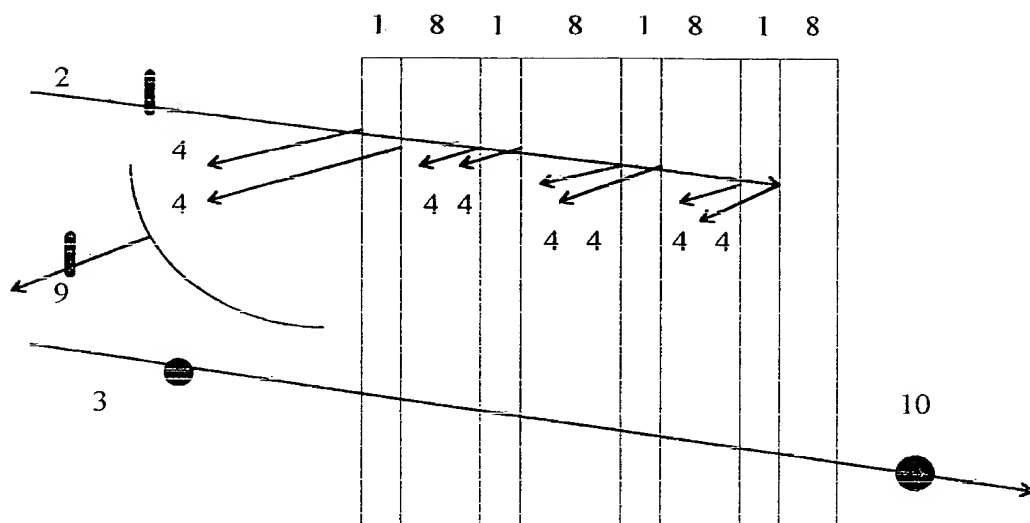
1. Патент США 5,007,942, кл. G 02 В 5/30, опубл. 1991
2. Заявка РСТ WO 94/ 28073, кл. С 09В 31/147, опубл. 1994
3. Заявка РСТ WO 95/17691, кл. G 02В 5/30, опубл. 1995 - прототип
4. Патент США 2, 524, 286, кл. 350-155. опубл. 1950



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

## РЕФЕРАТ

Изобретение относится к оптике, а именно к оптическим поляризаторам, которые могут быть использованы в жидкокристаллических дисплеях, в поляризационных очках, в автомобилях и других средствах передвижения, а также в стеклах для строительства, в осветительной аппаратуре, в оптическом приборостроении.

Предлагается оптический поляризатор, включающий по крайней мере один двулучепреломляющий слой с толщиной, при которой реализуется интерференционный экстремум на выходе оптического поляризатора по крайней мере для одной линейно-поляризованной компоненты света, отличающийся тем, что по крайней мере один двулучепреломляющий слой является анизотропно поглощающим и имеет по крайней мере один показатель преломления, возрастающий при увеличении длины волны поляризуемого света по крайней мере в некотором диапазоне из рабочих длин волн, при этом толщины анизотропно поглощающих двулучепреломляющих слоев выбираются из условия получения на выходе оптического поляризатора интерференционного минимума для одной линейно-поляризованной компоненты света и, одновременно, интерференционного максимума для другой ортогональной линейно-поляризованной компоненты света.

Результатом изобретения является обеспечение высоких поляризационных характеристик оптического поляризатора в широкой спектральной области при использовании количества слоев не более 10.

16 з.п.ф-лы, 3 илл.

2403 / 14-496 / N4

RUSSIAN AGENCY FOR PATENTS AND TRADEMARKS  
(ROSPATENT)  
FEDERAL INSTITUTE FOR INDUSTRIAL PROPERTY

Reg. No. 20/14-496(2)

September 21, 1999

THIS IS TO CERTIFY

By Federal Institute for Industrial Property of Russian Agency for Patents and Trademarks that the materials appended hereto are the exact reproduction of the original specification, claims and drawings (if any) of Application No. 98101616 for patent on invention as filed on the 12th day of January, 1998.

Title of the invention: An optical polarizer

Applicant(s): MIROSHIN Alexandr Alexandrovich

Actual author(s): BELYA'YEV Sergey Vasil'yevich  
MALIMONENKO Nikolay Vladimirovich  
MIROSHIN Alexandr Alexandrovich

Authorized signer of the copy of  
application for patent on invention

/signature/

G.F. Vostrikov

Head of Division

## AN OPTICAL POLARIZER

The invention relates to optics, particularly, to optical polarizers, that can be suitably used in liquid-crystal displays, polarizing spectacles, motor cars and other transportation means, as well as in glass used in construction, lighting fixtures and optical instruments.

The presently used optical polarizers are represented by a polymer film, oriented by uniaxial extension, dyed in mass by dichroic organic dyes or iodine compounds. As a polymer, polyvinyl alcohol (PVA) [1] is mainly used. Iodine PVA-based polarizers, dyed with iodine, have the highest polarizing characteristics and are extensively used in manufacture of liquid-crystal indicators for watches, calculators, portable computer screens, etc.

When the non-polarized light passes through a dichroic optical polarizer [1], of linearly-polarized component, whose oscillation plane is parallel to the absorption plane, is absorbed practically completely. The other orthogonal linearly-polarized component, i.e. the component wherein the oscillation plane is perpendicular to the absorption axis, passes through an optical polarizer, thereby being subjected to a significantly lesser absorption. Thus polarization of the passing light takes place. The iodine polarizers are multi-layer films that comprise, apart from the polarizing layer, the reinforcing, gluing and protection layers.

Disadvantages of said film-shaped dichroic polarizers, besides their comparatively high cost caused by a complexity of manufacture thereof, are their low thermal and light resistance.

The analog of the claimed optical polarizer can be also a dichroic light polarizer (DLP) representing a substrate, whereon applied is a thin film of a molecularly-arranged layer of dichroic dyes being sulfonic acids or their non-organic salts of aso- and polycyclic compounds, or their mixes, capable of forming a stable lyotropic liquid crystals (LLC) and compositions based thereon [2].

For manufacture of the known polarizer [2]: dyes are applied on the substrate surface, with simultaneous mechanical orienting thereof, with subsequent evaporation of a solvent. Thereby on the substrate surface formed is a film 0.1-1.5  $\mu\text{m}$  thick of a

molecularly-arranged layer of a dye - a polarizing coating (PC) capable of polarizing the light.

The known polarizer [2] has an higher thermal and light resistance as compared with the iodine polarizers, but has lower polarizing characteristics.

Also known are optical polarizers that «work» owing to other physical phenomena, e.g. owing to different light reflection index, having different polarizations. Polarizers of such type are referred to as the reflection-type polarizers, and therein the light polarization phenomena are utilized both in incidence and reflection of light beams from the surface of any dielectric materials at inclined angles approximating Brewster angle, and in the normal (perpendicular to the surface) incidence and reflection of light from the surface of birefringent materials. An improvement of the polarizing properties achieved in using the multi-layer design of the reflection-type polarizers.

The most pertinent prior art is the known polarizer [3], comprising at least one birefringent layer with a thickness whereat an interference extremum at output of the optical polarizer is realized for at least one linearly-polarized light component. Such polarizer includes interleaved layers of two *transparent* (non-absorbing in the operation wavelength range) polymeric materials, of which at least one is the birefringent layer. Birefringence in said polymeric material is created as a result of extending of a film, manufactured of said material, in single direction 2-10 times. The other layer of the polymeric material, interleaved layer-by-layer with the birefringent layer, is the optically isotropic layer. The ordinary refractive index of the birefringent layer is equal to that of the optically isotropic layer. The extraordinary refractive index of the birefringent layer differs from that of the optically isotropic layer.

The operation principle of the known optical polarizer is based on that, one linearly-polarized component of the non-polarized light, to which component corresponds the extraordinary (greater) refractive index of the birefringent layer, is essentially reflected from the multi-layer optical polarizer due to a difference of refractive indices on boundaries of the birefringent and the optically isotropic layers. When thicknesses of layers is about the light wavelength magnitude, the light beams reflected from the layers boundaries, interfere with one another. When thicknesses of layers and their refractive indices are appropriately selected, the optical travel difference between the waves reflected from the layers' boundaries is an integer of wavelengths, i.e. the result of interference of

the reflected waves will be the interference maximum resulting in their mutual amplification. In this case, reflection of the linearly-polarized component of the non-polarized light, to which component corresponds the extraordinary (greater) refractive index of the birefringent layer, is amplified considerably.

The ordinary (lesser) refractive index of the birefringent layer is selected to be essentially equal to refractive index of the optically isotropic polymeric layer, i.e. there is no difference (abrupt changes) of refractive indices on boundaries of the birefringent and the optically isotropic layers. For this reason, the other linearly-polarized component of the incident non-polarized light, to which component the ordinary (lesser) refractive index of the birefringent layer corresponds, passes through the multi-layer polarizer completely, without any reflections.

Thus, when the non-polarized light is incident on the known optical polarizer, one linearly-polarized component is reflected, and the other linearly-polarized component passes through the polarizer, i.e. polarization of light both for the passing and the reflected light takes place.

The known optical polarizer [3] is a combined one and further comprises a dichroic polarizer having a weak absorption and dichroism, optically positioned with a reflection-type optical polarizer. The role of an additional dichroic polarizer, whose transmission axis is parallel to that of the reflection-type optical polarizer is elimination of reflections of the external light when the combined optical polarizer operates «for translucency».

One of the disadvantages of the known optical polarizer is comparatively strong spectral dependency of its optical characteristics, i. e., dependency of the polarizing capability and reflection (and transmission) index on the polarized light wavelength. This disadvantage is caused by the fact that refractive indices in the used materials decrease as the polarized light wavelength grows.

The other disadvantage of the known optical polarizer [3] is the necessity to use a great amount of interleaved layers, which necessity is caused by the fact that the maximum value of birefringence (difference between the extraordinary and ordinary refractive indices of a birefringent material) in transparent polymer materials is small and generally does not exceed 0.1-0.2. Therefore the index of the reflection from boundaries of layers is small, and to produce an high reflection, in the whole, of an optical polarizer it is

necessary to use a great number (100-600) of layers which is a rather difficult task and requires a special precision equipment.

The second reason of the necessity to use a great number of layers in the prototype optical polarizer is as follows. To polarize light in a broad spectrum of wavelength in a multi-layer coating, many pairs of interleaved layers or pair groups having different thickness for the purpose to «tune» each pair group to the «own» wavelength of a broad spectrum range is required.

However, even when a great number of layers' pair groups is used, each of which being tuned to its own wavelength, the optical characteristics of the known polarizer have a comparatively strong dependence on the polarized light wavelength.

The goal of the invention is to provide an optical polarizer ensuring high polarization characteristics in a broad spectrum range using a number of layers not more than 10 layers.

The set goal is to be attained in an optical polarizer characterized in that at least one birefringent layer is anisotropically absorbing one and the other has at least one refractive index that increases as the polarized light wavelength grows at least in a range of the operation wavelengths.

The essential feature of the invention is at least one birefringent layer having a thickness wherein one interference extremum is realized at output of the optical polarizer at least for one linearly-polarized light component. Thickness of the birefringent layer is selected also as a function of the type of the material used for manufacture of a layer.

The distinguishing feature of the invention is at least one anisotropically absorbing birefringent light having at least one refractive index that increases as the polarized light wavelength grows. Thereby, first, value of at least one refractive index significantly increases, and the required number of layers abruptly diminishes. Second, dependence of the conditions of obtaining the interference extrema (maximums and minimums) on the light wavelength is reduced, and in the optimum version the same is eliminated completely, which circumstance provides high polarization characteristics of the optical polarizer in a broad spectrum range.

Versions of embodiment of the optical polarizer according to the invention, characterized in that at least one birefringent layer is the anisotropically absorbing one and

has at least one refractive index that increases as the polarized light wavelength grows in at least some range of the operation wavelengths are as follows:

1. An optical polarizer characterized in that at least one anisotropically absorbing birefringent layer is made of a material selected among low-molecular thermotropic liquid-crystal materials or their mixtures, being dichroic dyes and comprising, as a component, liquid-crystal and/or non-liquid crystal dichroic dyes.
2. . An optical polarizer characterized in that at least one anisotropically absorbing birefringent layer is made of a material selected among polymeric thermotropic liquid-crystal or non-liquid-crystal substances or their mixtures, comprising the solved in water and/or chemically bonded with a polymer chain dichroic dyes, is less than 0.2 mcm thick.
3. . An optical polarizer characterized in that at least one anisotropically absorbing birefringent layer being an oriented film of non-liquid-crystal polymeric materials with a controlled degree of hydrophilicity, dyed with dichroic dyes and/or iodine compounds.
4. . An optical polarizer characterized in that at least one anisotropically absorbing birefringent layer is formed of dichroic organic dyes of the polymeric structure.
5. . An optical polarizer characterized in that at least one anisotropically absorbing birefringent layer is an oriented molecularly-arranged layer of organic salts of dichroic anionic dyes.
6. . An optical polarizer characterized in that at least one anisotropically absorbing birefringent layer is an oriented molecularly-arranged layer less than 0.1 mcm thick of dichroic dyes capable of forming a lyotropic liquid-crystal phase.
7. An optical polarizer characterized in that at least one anisotropically absorbing birefringent layer is an oriented molecularly-arranged layer less than 0.1 mcm thick of dichroic dyes of the polymeric structure capable of forming a lyotropic liquid-crystal phase.
8. An optical polarizer characterized in that at least one anisotropically absorbing birefringent layer is an oriented molecularly-arranged layer less than 0.1 mcm thick of dichroic dyes or their mixtures capable of forming a <sup>stable</sup> lyotropic liquid-crystal phase.

The above-discussed versions do not limit the possibilities to use other materials in forming anisotropically absorbing birefringent layers for the proposed optical polarizer.

An anisotropically absorbing birefringent layer in the proposed optical polarizer can be both solid and liquid.

The use of at least one anisotropically absorbing birefringent layer, though causing slight light losses in the polarizer, but these losses are small, particularly in the layers having thickness less than 0.1 mcm, and the attained technical result is high polarization characteristics in a broad spectrum range when at most 10 layers are used, and this result compensates for these losses.

Selection of techniques for manufacture of the optical polarizer of the invention depends on the type of the materials used for anisotropically absorbing birefringent layers and other layers, and it does not affect the essence of the invention.

For forming anisotropically absorbing birefringent layers the following standard methods can be used: application by a roller, doctor blade, blade in the form of non-rotating cylinder, application using a sheet die. In a number of case, after application a layer is subjected to drying for the purpose to remove solvents. In other cases, for example for thermoplastic polymer materials and vitrified materials, the applied layer is cooled after application.

The other methods that can be used for producing anisotropically absorbing birefringent layers of the materials formed in the course of application of a liquid-crystal phase, is application of this material on the substrate initially prepared for orientation of the liquid-crystal phase [4]. One of these techniques is the unidirectional rubbing of the substrate, known and used for orienting thermotropic low-molecular liquid-crystal mixes in manufacture of LC-displays.

Another technique for producing anisotropically absorbing birefringent layers is the known technique of photo-orientation of the preliminarily applied, in this or other way, layer using irradiation of the same by ultra-violet light.

For application of anisotropically absorbing birefringent layers of thermotropic polymer materials, extruders can be used, inclusive of those having several sheet dies and allowing to apply in one run several layers of different polymeric materials of a required thickness.

Here and hereinafter the notions of «light» and «optical» (polarizer) mean the electromagnetic radiation of the visible, near ultraviolet and near infrared wavelength ranges, i.e. that of 250-300 nm to 1000-2000 nm (0.25-0,3 to 1-2 micrometers).

Here and hereinafter a planar layer is cited solely for the purpose of a more ready understanding. Without prejudice to the generality, we mean also an optical polarizer having diverse shapes: cylindrical, spherical and more complex shapes. Further, the proposed polarizer can be implemented both as structurally single and isolated, and as applied on various substrates or between substrates.

Layers having at least two different refractive indices: the extraordinary index  $n_e$  for one linearly-polarized light component, and the ordinary index  $n_o$  for the other orthogonal linearly-polarized light component, are referred to as the birefringent ones. Value  $\Delta n = n_e - n_o$  is referred to as anisotropy of the refractive index, or simply the optical anisotropy. Here and hereinafter it is assumed that the optical axes, to which axes the extraordinary and ordinary are orthogonal and disposed in the layer plane. The optical axis, to which axis the extraordinary refractive index  $n_e$  corresponds, is defined by this or other way. For example, such axis can be the direction in which a polymer material has been drawn, or a director in an oriented nematic liquid crystal. Such birefringent layer in sense of crystal optics corresponds to an optically uniaxial plate, cut in parallel to the main axis. Here and hereinafter, as an example, considered are the optically positive birefringent layers, wherein  $n_e > n_o$ . Without prejudice to the generality, all inferences also belong to the optically negative birefringent layers, wherein  $n_e < n_o$ .

In a more general case, for example for the optically biaxial layers, there are three different refractive indices  $n_x = n_e$ ,  $n_y = n_o$ ,  $n_z$ . Refractive index  $n_x$  corresponds to the direction of oscillations in a light wave, which direction is parallel to the layer plane and directed along direction X, somehow defined, in the layer plane, and also corresponds to the following directions:  $n_y$  - direction of Y-oscillations in a light wave, also parallel to the layer plane, but perpendicular to X-direction,  $n_z$  - direction of Z-oscillations in a light wave that is perpendicular to the layer plane. Depending on a method for manufacturing the birefringent layers and a type of the used materials, ratio of refractive indices values  $n_x$ ,  $n_y$ ,  $n_z$  can be different.

In the proposed polarizer at least one anisotropically absorbing birefringent layer can have one, two or all the three refractive indices that grow as the polarized light wavelength increases at least in some range of the operation wavelengths.

The most preferable is the use of the optical polarizer according to the invention characterized in that at least one anisotropically absorbing birefringent layer has at least one refractive index that is directly proportional to the polarized light wavelength in some range of the operation wavelengths. Thus, if in formula  $2dn_e = m\lambda$  (where  $d$  is thickness of the anisotropically absorbing birefringent layer,  $m$  is the interference order) that corresponds to the interference maximum condition, the extraordinary refractive index  $n_e$  will be directly proportional with the light wavelength, i.e.  $n_e = A\lambda$  (where  $A$  - proportionality coefficient), then wavelength  $\lambda$  «decreases», and this means that the condition of the interference maximum, in this case, is satisfied for all wavelengths and, moreover, for all interference orders, i.e. for all values of  $m$ . Further, when the layer thickness of the same material has other values, the independence from the light wavelength of the interference minimum condition can be similarly provided. The direct proportionality of the refractive index with the light wavelength is a more strict requirement (condition), than a simple increase of the refractive index as the light wavelength grows.

According to the invention, preferable is an optical polarizer, characterized in that at least one anisotropically absorbing birefringent layer has the maximal value for at least one refractive index not less than 1.9. In this case the necessary number of layers does not exceed 10 layers, and the spectrum range having the high polarizing characteristics broadens more than thrice as compared with the prototype.

Experiments and estimates have also demonstrated that preferable is an optical polarizer, characterized in that at least one anisotropically absorbing birefringent layer has the maximal absorption index not less than 0.1 in the operation wavelength range.

The optimal polarizer is the one characterized in that thickness of anisotropically absorbing birefringent layer are selected for the purpose to satisfy the condition of obtaining at output of the optical polarizer the interference minimum for one linearly-polarized light component and, simultaneously, the interference maximum for the other orthogonal linearly-polarized light component. Actually, the distinguishing feature of the birefringent layers is the mere fact of the presence of at least two different values of

refractive indices, e.g.  $n_x$  and  $n_y$ , corresponding to axes X and Y disposed in the layer plane. Owing to this circumstance, the layer thickness and the interference order (number  $m$ ) can be selected such that at output of the polarizer there will be obtained the interference minimum for one linearly-polarized component, and simultaneously, the interference maximum for the other orthogonal linearly-polarized light component. The interference minimum can correspond to the ordinary refractive index, whereby the interference maximum is caused, accordingly, by the extraordinary refractive index. Also possible is the reverse situation, when the interference minimum corresponds to the extraordinary refractive index, whereby the interference maximum is caused, accordingly, by the ordinary refractive index.

Also preferable is the polarizer characterized in comprising at least two layers, of which at least one layer is the anisotropically absorbing birefringent layer, and the other is the optically isotropic one, one refractive index of the birefringent layer maximally differing from that of the optically isotropic one, and the other refractive index of the anisotropically absorbing birefringent layer coinciding with, or being maximally proximate to that of the optically isotropic one.

In this version, one linearly-polarized component of the incident non-polarized light, to which component corresponds the extraordinary (greater) refractive index of the anisotropically absorbing birefringent layer, is essentially reflected from the multi-layer polarizer due to a difference between refractive indices on the boundaries of the layers. When thicknesses of layers and their refractive indices are appropriately selected, the optical travel difference between the waves reflected from boundaries of the same anisotropically absorbing birefringent layer is an integer of wavelengths, i.e. the result of their interference will be the interference maximum resulting in the mutual amplification of the reflected waves. In this case the optical thicknesses of the optically isotropic material layers can be both significantly greater than the wavelength, and approximately equaling the wavelength. As the result, reflection of the linearly-polarized component of the non-polarized light, to which component corresponds the extraordinary (greater) refractive index of the anisotropically absorbing birefringent layers, is amplified considerably.

The ordinary (lesser) refractive index of the anisotropically absorbing birefringent layers coincides with, or maximally is proximate to the refractive index of the optically

isotropic layer, i.e. there is no difference (abrupt changes) of the refractive indices on the layer's boundaries. For this reason, the other linearly-polarized component of the incident non-polarized light, to which component the ordinary (lesser) component of refractive index of the birefringent layer corresponds, passes through the multi-layer polarizer completely, without any reflections.

The other version of the invention is an optical polarizer, characterized in comprising at least two different birefringent layers, of which at least one is the anisotropically absorbing birefringent layer, one refractive index of the anisotropically absorbing birefringent layer maximally differs from one refractive index of the other birefringent layer, and the other refractive index of the anisotropically absorbing birefringent layer coincides with, or is maximally proximate to the refractive index of the other birefringent layer.

The interference result is strongly influenced by ratio of intensities, and hence the ratio of amplitudes of the electric fields of the interfering rays. It is known that the minimum value of intensity in the interference minimum (being zero, in theory) can be obtained in case of their equality. Therefore it is advisable to provide the maximal possible equalization of amplitudes of the interfering rays for the interference minimum condition, which ensures the maximal «blanking» of rays of the corresponding component of the non-polarized light. To obtain the optimal interference result for the interference maximum condition, indices of reflection from each of the layer boundaries must be increased.

The proposed optical polarizer can be implemented to operate both «for reflection» and «transmission», and also to operate only «for reflection». In these cases, the embodiment is a polarizer characterised in that on one of its sides additionally applied is a light-reflecting coating. Preferable is a polarizer, wherein the light-reflecting coating is the metallic one. Application of the light-reflecting coating also allows to select the optimal, for the interference, indices of reflection from the optical polarizer's boundaries.

When the optical polarizer is applied on a substrate: as the first coating on the substrate side, both the light-reflecting coating (a mirror of the complete or partial reflection), and the optical polarizer itself can be applied.

The reflecting coating can be implemented both of a metal, and in the form of multi-layer dielectric mirrors made of interleaved layers of the materials having high and low refractive indices.

Metallic coatings are applied sufficiently simply by, for example, thermal vacuum evaporation, but in this case absorption of light takes place in such coatings, which decreases the transmission (reflection) properties of the polarizer. For producing the reflecting metallic coatings, aluminium (Al), silver (Ag) and other metals can be used.

In the case of multi-layer dielectric mirrors, absorption of light does not take place therein, but the process of their application is rather complicated and labour-intensive. The following materials can be used for such coatings:  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{ZnS}$ ,  $\text{ZnSe}$ ,  $\text{ZrO}_2$ , cryolite and polymers - as the materials having an high refractive index; and  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{BaF}_2$ ,  $\text{MgF}_2$ ,  $\text{AlN}$ ,  $\text{BN}$  or polymers - as the materials having a low refractive index.

The following standard methods can be used for applying the reflecting coatings upon a substrate or an optical polarizer: thermal vacuum evaporation, vapour application with subsequent thermal treatment, magnetron spraying and other methods.

As the substrate material, whereon an optical polarizer operating for «translucency» and, possibly, for «reflection» can be applied, any materials that are transparent in the operation wavelength range, e.g. quartz, glass, polymers and other, can be used.

As the substrate material, whereon the optical polarizer can be applied to operate only «for reflection», besides the materials that are transparent in the operation wavelength range, e.g. quartz, glass, polymers, also any other materials that are opaque in the operation wavelength range, e.g. metals, semiconductor materials, glass ceramic, plastics and other can be used.

The invention is illustrated as separate examples of particular embodiments in Figs. 1-3. Fig. 1 shows a diagram of an one-layer, reflection-type polarizer according to the invention. Fig. 2 schematically shows types of the dependencies of the refractive index of the optical polarizers on the light wavelength. Fig. 3 shows a diagram of a multi-layer optical polarizer according to the invention.

Fig. 1 shows a diagram of an one-layer reflection-type optical polarizer according to the invention, comprising anisotropically absorbing birefringent layer 1, characterised in that both its refractive indices (extraordinary  $n_e$  and ordinary  $n_o$ ) are proportional to the polarized light wavelength. In the most simple version, layer 1 from two sides is bounded on air. In more sophisticated versions, on one of its sides additionally applied is a light-

reflecting coating. Layer 1 can be applied also on the substrate of, for example, a transparent glass (shown by dashed line in Fig 1).

Operation of the proposed reflection-type polarizer can be explained as follows. Non-polarized light consists of two linearly-polarized components 2 and 3, whose polarization planes are mutually perpendicular (these two components in Fig. 1 are conventionally separated for the illustrative purposes and a more ready understanding). Component 2, polarized in parallel to the optical axis of layer 1 of an anisotropically absorbing birefringent material, is partially reflected from boundary of layer 1, thereby forming ray 4. The partial reflection of light from the interface of layer 1 and the environment takes place due to an abrupt change (difference) of refractive indices on this interface. For the partial reflection of the light, also an additionally applied light-reflecting coating on layer 1 can be used. The other portion of energy of component 2, passing through the anisotropically absorbing birefringent layer 1 is reflected from the second boundary of layer 1, and passes once again through layer 1, thereby forming ray 5. The reflected rays 4 and 5 are polarized in the same way as incoming component 2.

Thickness of layer 1 is selected such that the optical difference of travel  $\Delta_e$  for rays 4 and 5, corresponding to the greater refractive index  $n_e$  will be an odd number of half-waves of the polarized light,  $\Delta_e = \lambda/2 + m\lambda$ , where  $\lambda$  is light wavelength,  $m$  is interference order. If environments at either side of layer 1 are transparent (non-absorbing) and have the refractive indices that are less than refractive indices of layer 1, then the optical difference of travel is  $\Delta_e = 2dn_e + \lambda/2$ , where  $d$  is thickness of layer 1, and  $\lambda/2$  is a phase abrupt change in reflection from the first boundary as from the optically more dense medium. In this case, the result of interference of rays 4 and 5 is their mutual attenuation, and in the optimum version their complete blanking takes place. The complete blanking of rays 4 and 5 is achieved when intensities (amplitudes) of rays 4 and 5 are identical or approximate one another, which can be attained by the optimal selection of indices of reflection from boundaries of layer 1 using, for example, an additionally applied light-reflecting coating. The light-reflecting coating can be a metallic or dielectric one, and one-layer or multi-layer one. When the condition of proportionality of the extraordinary refractive index of the anisotropically absorbing birefringent layer 1 to the light wavelength being ( $n_e \approx \lambda$ ) is satisfied, the equality of  $\Delta_e = 2dn_e + \lambda/2 = \lambda/2 + m\lambda$  is

satisfied for the whole range of the operation light wavelengths, which provides high polarization characteristics in a broad spectrum range.

The other linearly-polarized component 3 that is polarized perpendicularly to the optical axis of the anisotropically absorbing birefringent layer 1, is partially reflected from the first boundary of layer 1, thereby forming ray 6. The other portion of energy of component 3, passing through layer 1 is reflected from the second boundary of layer 1, passes once again through layer 1, thereby forming ray 7. The reflected rays 6 and 7 are polarized in the same way as incoming component 3. The result of interference of rays 6 and 7 is their mutual amplification, i.e. the interference maximum, for the optical difference of the travel between them  $\Delta_o$ , that corresponds to the ordinary (lesser) refractive index  $n_o$  is an integer of wavelengths  $\Delta_o = 2dn_o + \lambda/2 = m\lambda$  (phase' abrupt change  $\lambda/2$  when ray 6 is reflected from the first boundary of layer 1 also takes place for this component). When the condition of proportionality of the ordinary refractive index of the anisotropically absorbing birefringent layer 1 to the light wavelength ( $n_o \approx \lambda$ ) is satisfied, the interference maximum condition  $\Delta_o = 2dn_o + \lambda/2 = m\lambda$  is also satisfied for the whole range of the operation light wavelengths, which means the elimination of the spectral dependency of the polarization characteristics of the optical polarizer.

Thus in a broad region of spectrum, as a result of the interference, the total reflection of component 2, that is polarized in parallel to the optical axis of layer 1 of the birefringent material, is significantly less than reflection of component 3 that is polarized perpendicularly to the optical axis of layer 1.

Also possible the reverse situation, when as a result of the interference the total reflection of component 2, that is polarized in parallel to the optical axis of the birefringent material layer 1, is significantly greater than reflection of component 3 that is polarized perpendicularly to the optical axis of layer 1. Such situation takes place when thickness of layer 1 is selected such that the optical difference of travel  $\Delta_e$  for rays 4 and 5, that corresponds to the extraordinary (greater) refractive index  $n_e$ , will be an even number of half-waves of the polarized light  $\Delta_e = m\lambda$ . In this case, the result of interference of rays 4 and 5 is the interference maximum, i.e. their mutual amplification. At the same time, the optical difference of travel  $\Delta_o$  for rays 6 and 7, that corresponds to the ordinary (lesser) refractive index  $n_o$ , is an odd number of half-waves of the polarized light  $\Delta_o = \lambda/2 + m\lambda$ . In this case, the interference result of rays 9 and 10 is the interference minimum, i.e.

their mutual attenuation. Now, as the interference result, the total reflection of component 2, that is polarized in parallel to the optical axis of layer 1 of the birefringent material, is significantly <sup>larger</sup> lower, than reflection of component 3 that is polarized perpendicularly to the optical axis of layer 1 of the birefringent material.

Fig. 2 schematically shows the dependencies of refractive index of layers in optical polarizers on the visible light wavelength, i.e. in the range of 400-700 nm. Curve 1 corresponds to the optical polarizer of the prototype, wherein the refractive index of layers decreases as the light wavelength grows. Such dependency in optics is referred to as the normal dispersion and is intrinsic to transparent materials. Curve 2 corresponds to the optical polarizer according to the invention, wherein at least one refractive index of layers increases as the light wavelength grows. Such dependency in optics is referred to as the abnormal dispersion, and the optical polarizer must have a particular design so that to obtain such dependency. Experiments and estimates have shown that for this purpose preferable is a polarizer, characterised in that at least one anisotropically absorbing birefringent layer has the maximum absorption index of not less than 0.1 in the operation wavelength range. Here, as in optics, the absorption index of the manufactured layer  $k$  is determined (as in GOST 7601-78 standard) as the index at the virtual portion in the integrated refractive index of the manufactured material layer  $Z = n - ik$ . Curve 3 corresponds to the preferable embodiment of the optical polarizer according to the invention, characterised in that at least one anisotropically absorbing birefringent layer has at least one refractive index directly proportional with the polarized light wavelength at least in some operation wavelength range. The direct proportionality of refractive index to the light wavelength is a more strict requirement (condition) than a simple increase of refractive index when the light wavelength grows. High polarization characteristics in a broad spectrum range are provided in the optical polarizer, characterized in that the refractive index increases as the polarized light wavelength grows both in some range of the operation wavelengths, and in all operations wavelengths.

Fig. 3 shows a diagram of a multi-layer optical polarizer according to the invention, comprising 4 anisotropically absorbing birefringent layers 1, characterised in that the extraordinary refractive index  $n_e$  of these layers increases as the polarized light wavelength grows. Said layers 1 are applied as interleaved with four layers 8 of an optically isotropic material, the ordinary refractive index  $n_o$  of the birefringent material coinciding with, or

maximally proximate to refractive index  $n_i$  of the optically isotropic material. Anisotropically absorbing birefringent layers 1 can be implemented of identical or different materials, differing, for example, in spectral ranges, wherein the extraordinary refractive index  $n_e$  increases as the wavelength grows.

Operation of the proposed optical polarizer can be explained as follows. Non-polarized light consists of two linearly-polarized components 2 and 3, whose polarization planes are mutually perpendicular (these two components are conventionally separated in Fig. 3 for the illustrative purpose and a more ready understanding). Component 2 that is polarized in parallel to the optical axis of the anisotropically absorbing birefringent layers 1 is partially reflected from boundaries of layers 1 and optically isotropic layers 8, thereby forming rays 4. Reflected rays 4 are polarized in the same way as incoming component 2.

Thickness of layers 1 is selected such that the result of interference of all rays 4 is the interference maximum, i.e. their mutual amplification. Thereby reflection index reaches 98%-99.9%, which means that linearly-polarized component 2 practically completely is reflected from the polarizer, thereby forming ray 9. When a condition more strict than a simple increase, namely the condition of the direct proportionality of the extraordinary refractive index of the anisotropically absorbing birefringent layers 1 to the light wavelength ( $n_e \approx \lambda$ ) is satisfied, the interference maximum condition is satisfied for a more broad range of wavelengths propagating over the whole operation light wavelengths range.

To the other component 3 of the non-polarized light that is linearly-polarized perpendicularly to the optical axis of layers 1, corresponds the ordinary refractive index  $n_o$  of layers 1, that is equal to refractive index  $n_i$  of the optically isotropic layer ( $n_o = n_i$ ). Here there is no reflection from boundaries of layers 1 and 8, and linearly-polarized component 3 passes through a multi-layer polarizer completely, without any reflections, thereby forming ray 10. Reflection of component 3 from the external surfaces of the polarizer can be eliminated by an usual method of «brightening», i.e. by application of optically isotropic layers, having the optical thickness of the quarter of the wavelength and refractive index of  $n_o^{1/2}$ , on the external surfaces.

Thus, the non-polarized light when being incident upon the multi-layer optical polarizer is divided into two parts and converted into linearly-polarized ray 9 that passes

through the polarizer, and orthogonally linearly-polarized ray 10 that is reflected from the polarizer.

The above-described examples do not limit possible versions of the particular embodiments of the proposed optical polarizer.

Thus, in all above-discussed examples, provided are high polarization characteristics of the optical polarizer in a broad spectrum range, when the number of the used lays does not exceed 10.

## CLAIMS

1. An optical polarizer, including at least one anisotropically absorbing birefringent layer having a thickness, whereat an interference extremum at output of the optical polarizer at least for one linearly-polarized light component is realized, characterized in that at least one birefringent layer is the anisotropically absorbing one and has at least one refractive index that increases as the polarized light wavelength grows at least in some range of the operation wavelengths.
2. The optical polarizer as claimed in claim 1, characterized in that at least one anisotropically absorbing birefringent layer is made of a material selected among low-molecular thermotropic liquid-crystal substances or their mixtures, being dichroic dyes or comprising, as a component, liquid-crystal and/or non-liquid-crystal dichroic dyes.
3. The optical polarizer as claimed in claim 1, characterized in that at least one anisotropically absorbing birefringent layer is made of a material selected among polymeric thermotropic liquid-crystal or non-liquid-crystal substances or their mixtures, comprising the solved, in water in mass and/or chemically bonded with a polymeric chain dichroic dyes, and is less than 0.2 mcm thick.
4. The optical polarizer as claimed in claim 1, characterized in that at least one anisotropically absorbing birefringent layer is the oriented film of non-liquid-crystal polymeric materials having a controlled degree of hydrophilicity, dyed with dichroic dyes and/or iodine compounds.
5. The optical polarizer as claimed in claim 1, characterized in that at least one anisotropically absorbing birefringent layer is formed of dichroic organic dyes of the polymeric structure.
6. The optical polarizer as claimed in claim 1, characterized in that at least one anisotropically absorbing birefringent layer is an oriented molecularly-arranged layer of organic salts of dichroic anionic dyes.
7. The optical polarizer as claimed in claim 1, characterized in that at least one anisotropically absorbing birefringent layer is an oriented molecularly-arranged layer

less than 0.1 mcm thick of dichroic dyes capable of forming a lyotropic liquid-crystal phase.

8. The optical polarizer as claimed in claim 7, characterized in that at least one anisotropically absorbing birefringent layer is an oriented molecularly-arranged layer of dichroic organic dyes of the polymeric structure.
9. The optical polarizer as claimed in claim 7, characterized in that at least one anisotropically absorbing birefringent layer is an oriented molecularly-arranged layer of dichroic dyes or their mixtures, capable of forming a stable lyotropic liquid-crystal phase.
10. The optical polarizer as claimed in claim 1, characterized in that at least one anisotropically absorbing birefringent layer has at least one refractive index that is directly proportional to the polarized light wavelength in at least some range of the operation wavelengths.
11. The optical polarizer as claimed in claim 1, characterized in that at least one anisotropically absorbing birefringent layer has the maximal value of at least one refractive index being not less than 1.9.
12. The optical polarizer as claimed in claim 1, characterized in that at least one anisotropically absorbing birefringent layer has the maximal absorption index of not less than 0.1 in the range of the operation wavelengths.
13. The optical polarizer as claimed in claim 1, characterized in that thickness of anisotropically absorbing birefringent layers is selected under the condition to obtain at output of the optical polarizer the interference minimum for one linearly-polarized light component and, simultaneously, the interference maximum for the other orthogonal linearly-polarized light component.

14. An optic polarizer according to claim 1, characterized in that it comprises at least two layers at least one of which is an anisotropically absorbing birefringent layer, and the other layer is an optically isotropic layer one refringence parameter of the birefringent layer being maximally different from the refringence parameter of the optically isotropic layer, and the other refringence parameter of the anisotropically absorbing birefringent layer coinciding or being maximally close to the refringence parameter of the optically isotropic layer.

15. An optic polarizer according to claim 1, characterized in that it comprises at least two different birefringent layers at least one of which is an anisotropically absorbing birefringent layer one refringence parameter of the anisotropically absorbing birefringent layer being maximally different from one refringence parameter of the other birefringent layer, and the other refringence parameter of the anisotropically absorbing birefringent layer coinciding or being maximally close to the other refringence parameter of the other birefringent layer.

16. An optic polarizer according to claim 1, characterized in that a light-reflecting coating is applied on one its side.

17. An optic polarizer according to claim 16, characterized in that the light-reflecting coating is metallic..

## ABSTRACT

The invention relates to optics, particularly, to optical polarizers, that can be suitably used in liquid-crystal displays, polarizing spectacles, motor cars and other transportation means, as well as in glass used in construction, lighting fixtures and optical instruments.

Proposed is an optical polarizer including at least one birefringent layer having a thickness whereat an interference extremum is realized at output of the optical polarizer for at least one linearly-polarized light component, characterized in that at least one birefringent layer is the anisotropically absorbing one and has at least one refractive index that increases as the polarized light wavelength grows in at least some range of the operation wavelengths, thickness of the anisotropically absorbing birefringent layers is selected under the condition to obtain, at output of the optical polarizer, the interference minimum for one linearly-polarized light component and, simultaneously, the interference maximum for the other orthogonal linearly-polarized light component.

The result of the invention is that provided are high polarization characteristics of the optical polarizer in a broad spectrum range, whereby number of the used layers is not more than 10.

16 dep. Claims, 3figs.